



#5

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Pascal CHEVALIER, et al.

GAU:

SERIAL NO: 10/060,249

EXAMINER:

FILED: February 1, 2002

FOR: METHOD TO ESTIMATE THE PARAMETERS OF PROPAGATION CHANNEL

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:


<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
France	0101429	February 2, 2001

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and  
(B) Application Serial No.(s)
  - ☐ are submitted herewith
  - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak  
Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.  
Registration No. 26,803



22850

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



10/060,249  
pl. 216 29  
Tha les  
(8)  
62 397

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 21 JAN. 2002

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30  
www.inpi.fr

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354\*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

<b>REMISE DES PIÈCES</b> <b>DATE</b> 2 FEV 2001 <b>LIEU</b> 75 INPI PARIS  <b>N° D'ENREGISTREMENT</b> 0101429 <b>NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI</b> <b>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE</b> - 2 FEV. 2001 <b>PAR L'INPI</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> <b>À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b>  Isabelle DUDOUTT THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13, avenue du Président Salvador Allende 94117 ARCUEIL CEDEX	
<b>Vos références pour ce dossier</b> <i>(facultatif)</i> 62397			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N° _____ Date ____/____/____ N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> PROCEDE POUR ESTIMER LES PARAMETRES D'UN CANAL DE PROPAGATION.			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> <b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b> <b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b> <b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		THOMSON-CSF	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5 . 5 . 2 . 0 . 5 . 9 . 0 . 2 . 4	
Code APE-NAF		. . .	
Adresse	Rue	173, boulevard Haussmann	
	Code postal et ville	75008	PARIS
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			

**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE <b>2 FEV 2001</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0101429</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI		DB 540 W / 260899	
Vos références pour ce dossier : (facultatif)			<b>62 397</b>		
<b>6 MANDATAIRE</b>					
Nom		DUDOUTT			
Prénom		Isabelle			
Cabinet ou Société		THOMSON-CSF			
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		8325			
Adresse	Rue	13, avenue du Président Salvador Allende			
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX		
N° de téléphone (facultatif)		01 41 48 45 17			
N° de télécopie (facultatif)		04 41 48 45 01			
Adresse électronique (facultatif)					
<b>7 INVENTEUR (S)</b>					
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée			
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>			Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non			
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>			Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes					
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  Isabelle DUDOUTT			<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b> 		

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

L'invention concerne un procédé pour estimer la réponse impulsionnelle d'un canal de propagation, notamment ses paramètres tels que les valeurs de retard, les directions d'arrivée, ainsi que les valeurs des amplitudes complexes associées à ces paramètres, avec une connaissance a priori du signal.

Elle s'applique, par exemple, pour estimer les paramètres d'un filtre à réponse impulsionnelle finie, pouvant mais non nécessairement, s'écrire de façon spéculaire, c'est-à-dire que le filtre peut s'écrire sous la forme de Dirac pondérés.

L'invention est utilisée pour estimer des canaux de propagation dans le domaine des radiocommunications, mais aussi de manière générale, à tout signal filtré par un filtre linéaire à réponse impulsionnelle finie.

Dans un système de transmission, notamment par ondes radio, un émetteur émet un signal dans un canal de transmission à destination d'un récepteur. Le signal émis subit des fluctuations d'amplitude et de phase dans le canal de transmission, le signal reçu par le récepteur est constitué de copies temporellement décalées et modifiées du signal émis. Les fluctuations du signal et les décalages génèrent ce que l'Homme du métier appelle l'interférence intersymbole. L'interférence provient notamment de la loi de modulation employée pour la transmission et également de la propagation de multi-trajets dans le canal.

Le signal reçu est généralement issu d'un grand nombre de réflexions dans le canal, les différents trajets empruntés par le signal émis conduisant ainsi à des retards variés au niveau du récepteur. La réponse impulsionnelle du canal représente l'ensemble des fluctuations auxquelles est soumis le signal émis.

L'estimation du canal de propagation dans un système de radio-communication est intéressant à plusieurs égards, dont certains sont indiqués ci-après à titre d'exemples.

- Les démodulateurs nécessitent généralement la connaissance des canaux afin de remédier aux effets néfastes qu'ils ont induits,

- Un deuxième intérêt est la localisation urbaine ou extra-urbaine par exemple le principe de localisation d'urgence « 911 » aux Etats-Unis,
- Enfin, la connaissance des canaux de propagation peut également servir à l'utilisation d'antennes intelligentes (de type smart antennas) tant à la  
5 réception qu'à l'émission.

Différentes techniques sont connues de l'art antérieur pour estimer les canaux de propagation et leurs paramètres.

Par exemple, le document de R. Rick and L. Milsteil intitulé "Performance acquisition in mobile ds-cdma systems", IEEE Trans on  
10 Communications, Vol: 45(No: 11):pp: 1466–1476, November 1997, propose de rechercher les retards de propagation en utilisant un banc de détecteurs non-cohérents. Les résultats sont proposés pour des canaux à multi-trajets, en présence de Doppler et d'interférences inter-cellules et intra-cellulaires.

Le document de R. Rick et L. Milsteil ayant pour titre "Optimal  
15 decision strategies for acquisition of spread spectrum signals in frequency selective fading channels" paru dans IEEE Trans. on Communications, Vol: 46(No: 5):pp: 686–694, May 1998, divulgue une règle de décision optimale en se fondant sur les sorties des corrélateurs proposés dans le document précédemment cité. Une telle technique mono-utilisateur est limitée par les  
20 interférences dans le cas de multi-utilisateurs.

Il est aussi connu d'utiliser des filtres de mise en forme rectangulaires, par exemple selon des procédés décrits dans l'un des documents suivant:

- E. Strom, S. Parkvall, S. Miller, and B. Ottersen intitulé "Propagation  
25 delay estimation in asynchronous direct-sequence code-division multiple access systems", IEEE Trans on Communications, Vol: 44:pp: 84–93, January 1996
- S. Parkvall intitulé "Near-Far Resistant DS-CDMA Systems : Parameter estimation and Data Detection", PhD thesis, Royal Institute of Technology  
30 Stockholm, Sweden, 1996.
- S. E. Bensley and B. Aazhang intitulé "Maximum likelihood estimation of a single user's delay for code division multiple access communication systems", Conf. Information Sciences and Systems, 1994.



Dans le cas de filtres de mise en forme de durée supérieure à un temps de chip, ces différents procédés ne conviennent plus.

Des algorithmes d'estimation conjointes des angles d'arrivée et des temps de retards différentiels, sur des signaux reçus et connus, fondés sur des techniques de sous-espaces ont été proposées par exemple dans le document de P. Gounon intitulé "Analyse spatio-temporelle haute résolution à l'aide d'une antenne active", Traitement du Signal, Vol: 11(No: 5):pp: 351–360, 1994.

Le document de A. J Van der Veen, M. C. Vanderveen, et A. J. Paulraj, ayant pour titre "Joint angle and delay estimation using shift-invariance properties", IEEE Sig. Proc Letters, Vol.4(No.5):pp:142–145, 1997, divulgue des procédés d'estimation des paramètres physiques de la propagation à l'aide de méthodes à base de sous-espaces.

De telles méthodes souffrent toutefois d'une dégradation des performances dès que les réponses impulsionnelles des canaux de propagation sont corrélées. Cette situation se produit notamment lorsque les amplitudes complexes ne varient pas assez rapidement sur la matrice de covariance des réponses impulsionnelles estimées au sens des moindres carrés à l'aide du signal émis.

La figure 1 montre différentes techniques du Maximum de vraisemblance pouvant être utilisées en fonction des hypothèses.

Une méthode au sens du maximum de vraisemblance a par exemple été proposée dans l'une des références suivantes :

- J. Grouffaud, "Identification spatio-temporelle de canaux de propagation à trajets multiples", PhD thesis, École Normale Supérieure de Cachan, Juin 1997.
  - M. Wax and A. Leshem, "Joint estimation of delays and directions of arrival of multiple reflections of a known signal.", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol: 45(No: 10):pp: 2477–248, October 1997.
- mais ne traitent pas le contexte MIMO (abrégé anglo-saxon de Multiple Input Multiple Output).

Le document de P. Graffoulière intitulé "Méthodes actives spatio-temporelles large bande", publié dans Techniques et performances. Applications en sonar. PhD thesis, l'INPG, March 1997, divulgue également l'estimation au sens du maximum de vraisemblance mais les études de performances ne traitent que le cas d'une source unique ou de plusieurs sources très nettement séparées. Une étude similaire est divulguée dans le document de N. Bertaux ayant pour titre "Contribution à l'utilisation des méthodes du Maximum de Vraisemblance en traitement radar actif", PhD thesis, Ecole Normale Supérieure de Cachan, Janvier 2000, Pour des applications de radars actifs dans le cas monosource.

La présente invention concerne un procédé qui permet, notamment, d'estimer les paramètres d'un canal de propagation, en travaillant sur les signaux corrélés, en sélectionnant un certain nombre d'échantillons et en recherchant les valeurs des paramètres retard et/ou directions d'arrivées, par exemple, qui permettent de reconstruire au mieux le signal reçu.

Elle concerne également un procédé intégrant des techniques de compression d'impulsion comme prétraitement.

L'invention concerne un procédé pour estimer un ou plusieurs paramètres d'un canal de propagation avec une connaissance a priori du signal dans un système comportant un ou plusieurs capteurs.

Il est caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

- corrélér le signal reçu par le ou les capteurs  $s(t)$  avec un signal connu  $c(t)$ ,
- sélectionner un nombre d'échantillons du signal obtenu après l'étape de corrélation,
- déterminer les paramètres du canal tel que  $\tau$  et/ou  $\theta$  qui permettent de reconstruire au mieux les signaux reçus en utilisant une méthode au maximum de vraisemblance.

Selon un mode de réalisation, les caractéristiques du système de capteurs sont connues et il comporte par exemple :

- une étape de corrélation avec un signal connu  $c(t)$  égal à 1,
- les signaux reçus sur l'antenne s'exprime sous la forme  $X=S(\theta,\tau)h+B$
- 5 • les estimées des paramètres  $\tau$  et  $\theta$  s'expriment sous la forme :

$$\begin{aligned}\hat{\theta}, \hat{\tau} &= \arg \min_{\theta, \tau} \|\Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\|^2 \\ &= \arg \min_{\theta, \tau} \{X^\dagger \Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\}\end{aligned}$$

10 où  $\Pi_S^\perp$  est le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs colonnes de  $S(\theta, \tau)$ .

Les caractéristiques du système de capteurs sont par exemple la réponse à l'antenne.

Il peut comporter une étape de détermination des amplitudes complexes  $h$  de la réponse impulsionnelle du canal de propagation à partir  
15 des estimées des paramètres estimés  $\tau$  et  $\theta$ .

Selon un autre mode de réalisation les caractéristiques du système de capteurs ne sont pas connues et il comporte par exemple :

- une étape de corrélation des signaux reçus par le réseau de capteurs  
20 avec un signal connu  $c(t)$  égal à 1,
- une étape où les signaux reçus s'expriment sous une forme concaténée  $Y=\Psi(\tau)\alpha+N$  où  $\Psi(\tau)$  est égal au produit convolué de la matrice unité  $I_N$  avec la matrice  $\mathcal{S}(\tau) = [s^1(\tau_1^1), \dots, s^1(\tau_{P_1}^1), \dots, s(\tau_{P_U}^{U_U})]$  et  $\alpha$  contient les réponses des trajets des différents utilisateurs,
- 25 • une étape d'estimation du vecteur retard  $\tau$  à partir de

$$\begin{aligned}\hat{\tau} &= \arg \min_{\tau} \|\Pi_\Psi^\perp(\tau)Y\|^2 \\ &= \arg \min_{\tau} \text{tr}(Y^\dagger \Pi_\Psi^\perp(\tau)Y)\end{aligned}$$

où  $\Pi^\perp$  est le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs lignes de  $\Psi(\tau)$ .

L'étape de corrélation des signaux est effectuée avec un signal  $c(t)$  différent de 1, en ce que les caractéristiques du système de capteurs  
5 sont connues et en ce qu'il comporte une étape d'estimation des paramètres  $\tau$  et  $\theta$  à partir de

$$\theta, \tau = \arg \min_{\theta, \tau} X^w R_b^{-1} \Pi_\Phi^\perp(\theta, \tau) X^w$$

$$\Pi_\Phi^\perp = I - \Phi(\theta, \tau) (\Phi^\dagger(\theta, \tau) R_b^{-1} \Phi(\theta, \tau))^{-1} \Phi^\dagger(\theta, \tau) R_b^{-1}$$

10

L'invention concerne aussi un dispositif pour estimer un ou plusieurs paramètres d'un canal de propagation avec une connaissance a priori du signal dans un système comportant un ou plusieurs capteurs.

Il est caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- 15 • un dispositif adapté à corrélérer le signal reçu par le ou les capteurs  $s(t)$  avec un signal connu  $c(t)$ ,
- un dispositif adapté à sélectionner un nombre d'échantillons du signal obtenu après l'étape de corrélation, et
- un dispositif adapté à déterminer les paramètres du canal par une  
20 méthode au maximum de vraisemblance.

Le procédé est appliqué par exemple dans des applications de type MIMO (Multiple Input Multiple output) ou SIMO (Single Input Single Output).

25

L'invention présente notamment comme avantages :

- dans le contexte MIMO coopératif, l'estimateur utilisé dans le cadre d'une  
antenne connue, utilise un modèle paramétrique des signaux reçus sur  
l'antenne, contrairement au maximum de vraisemblance déterministe qui  
30 estime chaque échantillon du signal sans a priori,

- en limitant le domaine d'analyse dans certains cas d'application, elle conduit à une réduction de la taille des données traitées d'où un traitement plus rapide.

5 D'autres caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit où sont proposés des exemples de mise en œuvre à titre illustratif, ceci en référence aux figures annexées qui représentent :

- La figure 1 représente différentes approches d'estimation paramétriques  
10 au sens du Maximum de vraisemblance,
- La figure 2 schématise une première variante du procédé selon l'invention pour laquelle les caractéristiques des antennes de réception sont connues,
- La figure 3 représente un schéma d'une deuxième variante de réalisation  
15 où les caractéristiques des antennes de réception ne sont pas connues,
- La figure 4 schématise une autre variante du procédé comportant une étape préalable pouvant s'appliquer aux méthodes décrites aux figures 2 et 3 précédemment.

20 Afin de mieux faire comprendre l'objet de l'invention, la description est donnée à titre illustratif et nullement limitatif dans le domaines des radiocommunications mobiles, dans un contexte coopératif où le récepteur dispose de certaines informations, par exemple, la connaissance dans une certaine mesure du signal émis (connaissance a priori du signal).

25 Le récepteur est par exemple constitué de N capteurs identiques et omnidirectionnels. Les signaux  $s(t)$  reçus par chacun des capteurs étant échantillonnés régulièrement à la cadence  $T_e$ . Cet exemple, n'empêche pas l'application du procédé selon l'invention à d'autres types de récepteurs.

30 Avant de détailler les différentes variantes de mise en œuvre du procédé, quelques rappels sur la modélisation des signaux et quelques hypothèses permettant la mise en œuvre du procédé sont énoncés.

### **Modélisation des signaux reçus sur le système de réception**

En présence de U utilisateurs (sources), les U signaux  $s^u(t)$  avec

$1 \leq u \leq U$  se propagent à travers différents canaux avant d'être reçus par un ensemble de capteurs indicés  $k$ . La réponse impulsionnelle du canal entre l'utilisateur  $u$  et le capteur  $k$  est notée  $h_k^u(t, \tau)$ , où  $t$  est l'instant d'arrivée du signal et  $\tau$  son retard.

- 5 En appelant  $\mathbf{h}_k^u(t, \tau)$  le vecteur de dimension  $(N \times 1)$  dont les composantes sont les  $h_k^u(t, \tau)$ , avec  $1 \leq k \leq K$  et  $K$  le nombre de capteurs, on peut écrire le modèle des signaux reçus sous la forme (1) :

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{u=1}^U s_u(\tau) * \mathbf{h}^u(t, \tau) + \mathbf{b}(t) \text{ où}$$

- 10  $\mathbf{b}(t)$  est le vecteur bruit de dimension  $(N \times 1)$ .

### Hypothèse spéculaire

#### Temporellement spéculaire

- 15 Le modèle spéculaire est un modèle de canaux largement utilisé pour lequel, on considère que les trajets sont vus par l'antenne comme étant des trajets temporellement ponctuels.

La fonction de transfert du canal devient donc (2):

20 
$$\mathbf{h}^u(t, \tau) = \sum_{p=1}^{P_u} \mathbf{h}_p^u(\tau_p^u(t)) \delta(t - \tau_p^u(t))$$

avec

- $P_u$  le nombre de trajets de propagation de l'utilisateur  $u$ ,
  - $\mathbf{h}_p^u(\tau_p^u(t))$  le  $(N \times 1)$  vecteur contenant le produit des réponses de
- 25 l'antenne au trajet  $p$  par l'amplitude complexe du trajet.

Le signal reçu s'écrit dans le cas du canal spéculaire (3)

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{u=1}^U \sum_{p=1}^{P_u} \mathbf{h}_p^u(\tau_p^u(t)) s^u(t - \tau_p^u(t)) + \mathbf{b}(t)$$



### Antenne calibrée

Si l'antenne est calibrée, avec l'hypothèse que les signaux arrivant sur l'antenne ont une dispersion angulaire négligeable et que l'hypothèse bande étroite des signaux est respectée, le signal reçu est modélisé par (4) :

5

$$x(t) = \sum_{u=1}^U \sum_{p=1}^{P^u} a(\theta_p^u) h_p^u(\tau_p^u(t)) s^u(t - \tau_p^u(t)) + b(t)$$

où

- 10
- $\theta_p^u$  est la direction d'arrivée du trajet  $p$  de l'utilisateur  $u$ ,
  - $h_p^u(\tau_p^u(t))$  est le gain complexe du trajet  $p$  de l'utilisateur  $u$  reçu sur le premier capteur.

L'hypothèse précédemment faite (spécularité des directions d'arrivées) n'est pas restrictive dans le cas d'une station de base en hauteur.

- 15
- Si la spécularité n'est pas suffisante, le modèle peut être modifié en ajoutant une largeur de lobe de direction d'arrivée qui sera estimé par la méthode proposée selon l'invention en ajoutant les paramètres de ce lobe dans les paramètres à estimer.

- 20
- Les différentes variantes du procédé selon l'invention, font appel à la méthode du maximum de vraisemblance, dont différentes approches d'estimation paramétrique ont été données à la figure 1.

### Première variante de réalisation – antenne calibrée –

- 25
- Une première variante de réalisation du procédé selon l'invention utilise une méthode du maximum de vraisemblance adaptée aux signaux émis, dans le cas où les signaux émis sont en partie connue, et la réponse de l'antenne pour toutes les directions d'arrivée est connue.

- 30
- La figure 2 représente un schéma bloc où le bloc de traitement 1, comportant par exemple un microprocesseur, adapté à mettre en œuvre le

procédé selon l'invention, reçoit d'une part les différents signaux reçus par les antennes  $2i$ , ainsi qu'un signal connu correspondant au signal émis.

En sortie du bloc de traitement le procédé selon l'invention dispose au moins des estimées des directions d'arrivée  $\theta$  et des vecteurs de retard  $\tau$  qui sont par exemple utilisées pour en déduire la réponse impulsionnelle du canal  $h(t)$ , ceci pour une utilisation donnée ou pour l'ensemble des utilisateurs.

Les signaux reçus sur le réseau d'antennes sont des versions retardées, dilatées et éventuellement transposés en fréquence des signaux émis par les utilisateurs présents dans une cellule (ou un canal de propagation). Ces signaux s'expriment donc comme une combinaison linéaire d'un ensemble de fonctions de base connues et dont on veut extraire les paramètres.

Le procédé est présenté dans le contexte général d'estimation paramétrique des angles  $\theta$  et des retards  $\tau$  pour une antenne quelconque constituée de  $N$  capteurs identiques et omnidirectionnels. Les signaux sont échantillonnés régulièrement à la cadence  $T_e$ . On suppose le nombre de trajets connu et, si tel n'est pas le cas, on le détermine en utilisant une méthode de détection du nombre de sources qui permettent d'obtenir le nombre de trajets, par exemple décrites dans l'une des références suivantes:

- "Estimation of the number of signals in the presence of unknown correlated sensor noise" de J.J.Fuchs, IEEE Trans.on signal Processing, Vol 40(N° : 5) pages 351-360, 1994;
- "Méthodes à Haute résolution pour le traitement d'antenne et l'analyse spectrale" de J.Gouffraud, P.Larzabal et H.Clergeot, chapitre 6, Sélection d'ordre de modèle, aux Edistions Hermes, Février 1998;
- "A new look at the statistical model identification" de H.Akaike, IEEE Trans. On Automatic Control, Vol 19(N°6), december 1974,
- "Detection of signals by information theoric criteria" de M.Wax et T.Kailath, IEEE Trans.on ASSP, Vol 33(N°2), pages 387-392, April 1985.



Les étapes mises en œuvre dans l'algorithme selon l'invention restent valables lorsque le nombre de sources est surestimé.

### Modélisation

Le signal  $x(t)$  (équation (4)) reçu par le réseau de capteurs  $2i$  est échantillonné au rythme  $T_e$ , pendant une durée  $t=[T_e, N_e T_e]$  avec  $N_e$  nombre d'échantillons ou nombre d'observations pendant laquelle les amplitudes complexes de la réponse impulsionnelle pour un utilisateur  $u$  et un trajet  $p$ ,  $h_p^u(\tau_p^u(t))$  sont considérés comme constantes.

Ces  $N_e$  observations de dimension  $N \times 1$  sont concaténées dans le vecteur  $X$  de dimension  $N_e N \times 1$  :  $X = [x(T_e)^T, \dots, x(N_e T_e)^T]^T$  (5) où l'exposant  $T$  désigne la transposée.

On définit le vecteur  $B$  de dimension  $N_e N \times 1$  contenant la concaténation des échantillons du bruit durant la même période par (6) :

$$B = [b(T_e)^T, \dots, b(N_e T_e)^T]^T$$

Enfin nous notons  $s^u(\tau_p^u)$  le vecteur de dimension  $N_e \times 1$  correspondant au signal émis par l'utilisateur  $u$ , retardé de  $\tau_p^u$  et échantillonné :

$$s^u(\tau_p^u) = [s^u(T_e - \tau_p^u), \dots, s^u(N_e T_e - \tau_p^u)]^T \quad (7)$$

Le vecteur des concaténations des signaux reçus peut donc s'écrire (8)

$$X = \sum_{u=1}^U \sum_{p=1}^{P^u} h_p^u(\tau_p^u) (s^u(\tau_p^u) \otimes a(\theta_p^u)) + B$$

où  $\otimes$  est le produit de Kronecker.

Notons  $S(\theta, \tau)$  la matrice  $N_e N \times P$  ( $P = \sum_{u=1}^U P^u$ ) des vecteurs retard-direction définie de la manière suivante (9) :

$$S(\theta, \tau) = [[s^1(\tau_1^1) \otimes a(\theta_1^1)], \dots, [s^u(\tau_p^u) \otimes a(\theta_p^u)], \dots, [s^U(\tau_{P^U}^U) \otimes a(\theta_{P^U}^U)]]$$

où

- $\theta$  est le vecteur réel de taille  $P$  des directions d'arrivée
- $\tau$  est le vecteur réel de taille  $P$  des retards, ( $P$  étant le nombre de trajets)

On peut donc écrire l'équation des signaux reçus sur l'antenne comme :  $X = S(\theta, \tau)h + B$  (10) où  $h$  est le  $P \times 1$  vecteur complexe des amplitudes.

Cette formulation présente l'intérêt d'exprimer les observations comme un modèle linéaire fonction des amplitudes complexes  $h$  et du bruit.

Notons bien qu'il s'agit ici d'une modélisation MIMO (Multiple input multiple output), regroupant l'ensemble des signaux de tous les utilisateurs.

Il n'est pas nécessaire de connaître tout le signal émis. par exemple en communications mobiles, séquence de symboles connus sont émis périodiquement résultant en un signal connu. En radar ou en radio-altimétrie, par exemple, l'impulsion émise est connue.

### Log-vraisemblance

Les amplitudes complexes  $h$  sont considérées comme inconnues mais déterministes. Dans le but de simplifier l'exposé de l'invention sans toutefois la limiter, les signaux  $s^U(f)$  formant  $S(\theta, \tau)$  sont considérés comme parfaitement connus aux paramètres  $\theta, \tau$  près. Cela conduit à un modèle d'observation (10) où seul le vecteur bruit additif est aléatoire, de densité de probabilité gaussienne, représenté par (11) :

$$P\{X | \sigma^2, h, \theta, \tau\} = \frac{1}{\pi^{N_e N} \sigma^{2N_e N}} \exp \left( -\frac{1}{\sigma^2} (X - S(\theta, \tau)h)^H (X - S(\theta, \tau)h) \right)$$

La log-vraisemblance des observations est donc (12) :

$$L(X|\sigma^2, h, \theta, \tau) = -N_e N \log(\pi\sigma^2) - \frac{1}{\sigma^2} \|X - S(\theta, \tau)h\|^2$$

5

### Estimateur des paramètres $\sigma^2, h, \theta, \tau$

Grâce à la séparabilité des paramètres  $\sigma^2, h, \theta, \tau$ , l'expression de la log-vraisemblance (12) autorise la détermination analytique du vecteur des amplitudes complexes  $h$  et de la puissance du bruit  $\sigma^2$  en fonction de  $\theta$  et  $\tau$ . Ces estimées sont toutes deux obtenues en annulant les dérivées de la log-vraisemblance respectivement par rapport à  $\sigma^2$  et par rapport à  $h$ . Elles ont pour expression respectivement (13) et (14):

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N_e N} \|X - S(\theta, \tau)h\|^2$$

15

et

$$\hat{h} = (S^\dagger(\theta, \tau)S(\theta, \tau))^{-1} S^\dagger(\theta, \tau)X$$

20

En substituant les valeurs de  $h$  et de  $\sigma^2$  dans la log-vraisemblance (12), l'expression se simplifie et les estimées de  $\theta$  et  $\tau$  sont données par (15)

$$\hat{\theta}, \hat{\tau} = \arg \min_{\theta, \tau} \|X - S(\theta, \tau) (S^\dagger(\theta, \tau)S(\theta, \tau))^{-1} S^\dagger(\theta, \tau)X\|$$

25

En notant  $\Pi_S^\perp$  le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs colonnes de  $S(\theta, \tau)$  (16)

30

$$\Pi_S^\perp(\theta, \tau) = I - S(\theta, \tau) (S^\dagger(\theta, \tau)S(\theta, \tau))^{-1} S^\dagger(\theta, \tau)$$

Les estimées sont les solutions de (17)

$$\begin{aligned}\hat{\theta}, \hat{\tau} &= \arg \min_{\theta, \tau} \|\Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\|^2 \\ &= \arg \min_{\theta, \tau} \{X^\dagger \Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\}\end{aligned}$$

Ces valeurs estimées sont ensuite utilisées respectivement dans les expressions (13) et (14) pour déterminer la puissance du bruit et la réponse impulsionnelle du canal de propagation.

Le critère introduit dans (17) est noté dans la suite du texte par

$$L(\theta, \tau) = X^\dagger \Pi_S^\perp(\theta, \tau)X$$

#### Mise en œuvre du procédé selon l'invention dans le cas d'une antenne non calibrée

La figure 3 schématise un exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention dans le cas où les caractéristiques du récepteur ou de l'antenne ne sont pas connues, l'antenne est formée de plusieurs capteurs, dont la réponse n'est pas connue désignée souvent par l'expression "antennes non structurées".

Les antennes 2i reçoivent les signaux qui sont transmis à un bloc de traitement 4 adapté à mettre en œuvre les étapes du procédé, et qui reçoit lui-même un signal connu.

Le bloc de traitement équipé par exemple d'un microprocesseur programmé en conséquence délivre au moins la valeur estimée du vecteur de retards  $\tau$  et la valeur estimée de la réponse impulsionnelle du canal de propagation.

### Modélisation

Le signal reçu s'exprime sous la forme de l'équation (4) et est échantillonné au rythme  $T_e$  sur une période de temps  $t = [T_e, N_e T_e]$  dans laquelle les amplitudes complexes de la réponse impulsionnelle du canal de propagation  $h_p^u(\tau_p^u(t))$  peuvent être considérées comme constantes ou sensiblement constantes. Ces  $N_e$  échantillons de dimension  $N \times 1$  sont concaténés dans un vecteur  $Y$  de dimension  $N_e N \times 1$  tels que (18) :

$$Y = \left[ \underbrace{x_1(T_e), \dots, x_1(N_e T_e)}_{\text{capteur 1}}, \dots, \underbrace{x_N(T_e), \dots, x_N(N_e T_e)}_{\text{capteur N}} \right]^T$$

Où  $x_i(nT_e)$  est l'échantillon  $n$  du capteur  $i$ .

De même, le vecteur  $N$  de dimension  $N_e N \times 1$  contient la concaténation des échantillons de bruit (19)

$$N = \left[ \underbrace{b_1(T_e), \dots, b_1(N_e T_e)}_{\text{capteur 1}}, \dots, \underbrace{b_N(T_e), \dots, b_N(N_e T_e)}_{\text{capteur N}} \right]^T$$

Où  $b_i(nT_e)$  est l'échantillon de bruit  $n$  du capteur d'indice  $i$ .

Le signal  $Y$  peut s'écrire (20)

$$Y = \Psi(\tau)\alpha + N$$

où la matrice  $(N_e N \times NP)$   $\Psi$  est construite à partir des différents  $s^u(\tau_p^u)$  comme suit (21) :

$$\Psi(\tau) = I_N \otimes S(\tau)$$

où  $S(\tau)$  est la matrice  $(N_e \times P)$  telle que (22) :

$$S(\tau) = [s^1(\tau_1^1), \dots, s^1(\tau_{P_1}^1), \dots, s^u(\tau_{P_u}^u)]$$

5  $\alpha$  contient les réponses des capteurs aux différents trajets des différents utilisateurs (23) :

$$10 \quad \alpha = \left[ \underbrace{h_{1,1}^1(\tau_1^1), \dots, h_{p,1}^u(\tau_p^u), \dots, h_{PU,1}^U(\tau_{PU}^U)}_{\text{capteur 1}}, \dots, h_{PU,N}^U(\tau_{PU}^U) \right]^T = [h_1^T, \dots, h_N^T]^T$$

avec  $h_i = [h_{1,i}^1(\tau_1^1), \dots, h_{p,i}^u(\tau_p^u), \dots, h_{PU,i}^U(\tau_{PU}^U)]$

15 Les amplitudes complexes sont toujours supposées constantes pendant la phase d'estimation des paramètres.

La modélisation des signaux reçus donnée par l'équation (20) nous fournit un modèle affine. Comme précédemment, cette expression prend en compte les signaux de l'ensemble des utilisateurs.

## 20 Log-vraisemblance

Les amplitudes complexes  $\alpha$  sont considérées dans ce cas comme étant inconnues mais déterministe. Les signaux qui interviennent dans  $\Psi(t)$  sont supposés connus aux variables  $\tau$  près. Cela conduit à un modèle où seul le bruit  $N$  est aléatoire, de composantes gaussiennes et de

25 densité de probabilité (25) :

$$P\{Y|\sigma^2, \alpha, \tau\} = \frac{1}{\pi^{N_e N} \sigma^{2N_e N}} \exp \left( -\frac{1}{\sigma^2} \text{tr} \left( (Y - \Psi(\tau)\alpha)^\dagger (Y - \Psi(\tau)\alpha) \right) \right)$$

30 La log-vraisemblance est alors donnée par (26)

$$L(Y|\sigma^2, \alpha, \tau) = -N_e N \log(\pi\sigma^2) - \frac{1}{\sigma^2} \|Y - \Psi(\tau\alpha)\|^2$$

### 5      **Estimateur des paramètres $\sigma^2, \alpha, \tau$**

Comme dans le cas du maximum de vraisemblance adapté aux signaux reçus avec une antenne connue tel qu'exposé précédemment, les expressions analytiques des amplitudes complexes  $\alpha$ , ainsi que la puissance du bruit  $\sigma^2$  peuvent être exprimées en fonction du jeu de paramètres des vecteurs retards  $\tau$ .

Ceci s'obtient par exemple en annulant respectivement les dérivées de la log-vraisemblance par rapport à  $\alpha$  et par rapport à  $\sigma^2$ .

On obtient l'expression (27)

$$15 \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N_e N} \|Y - \Psi(\tau)\alpha\|^2$$

Et (28)

$$\hat{\alpha} = (\Psi^\dagger(\tau)\Psi(\tau))^{-1} \Psi^\dagger(\tau)Y = \Psi^\#(\tau)Y$$

20    En remplaçant  $\alpha$  et  $\sigma^2$  par leurs estimées, la log-vraisemblance se simplifie et l'estimateur de  $\tau$  est (29)

$$\hat{\tau} = \arg \min_{\tau} \left\| Y - \Psi(\tau) (\Psi^\dagger(\tau)\Psi(\tau))^{-1} \Psi^\dagger(\tau)Y \right\|^2$$

25    En notant  $\Pi_{\Psi}^\perp(\tau)$  le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs lignes de  $\Psi(\tau)$  (30):

$$\Pi_{\Psi}^\perp(\tau) = I - \Psi(\tau) (\Psi^\dagger(\tau)\Psi(\tau))^{-1} \Psi^\dagger(\tau)$$

30    l'estimée de  $\tau$  est donnée par (31)

$$\begin{aligned}\hat{\tau} &= \arg \min_{\tau} \|\Pi_{\Psi}^{\perp}(\tau)Y\|^2 \\ &= \arg \min_{\tau} \text{tr}(Y^{\dagger} \Pi_{\Psi}^{\perp}(\tau)Y)\end{aligned}$$

5

Les deux variantes de réalisation qui ont été précédemment exposées traitent des signaux échantillonnés en sortie de capteur ou encore pour un signal corrélé avec un signal connu de valeur 1. Les matrices à traiter sont de taille  $N \times P$ .

10

Selon une autre variante de mise en œuvre du procédé qui peut s'appliquer aussi bien dans le cas d'une antenne calibrée que dans le cas d'une antenne non calibrée, le procédé selon l'invention utilise des signaux corrélés.

La figure 4 représente un schéma bloc dans lequel un corrélateur 10 reçoit d'une part les signaux reçus par les antennes et d'autre part le signal connu.

Le corrélateur 10 comporte un nombre de sorties identiques au nombre d'entrées, chaque signal  $s_i(t)$  arrivant sur une antenne étant corrélé par un signal connu  $c(t)$ . Les différents signaux corrélés  $s_i(t) \cdot c_i(t)$  où  $i$  est l'indice du capteur, sont ensuite transmis à un dispositif 11 adapté à sélectionner un nombre d'échantillons, afin notamment de travailler sur un intervalle de temps préalablement défini. Les signaux corrélés et appartenant à l'intervalle de temps retenu, sont ensuite transmis à un bloc de traitement 12 comportant par exemple un microprocesseur adapté à estimer les valeurs  $\theta$  et  $\tau$ , lorsque les caractéristiques de l'antenne sont connues ou la valeur de  $\tau$  pour une antenne ayant des caractéristiques inconnues. A partir de ces valeurs il est possible de déterminer l'estimée de la réponse impulsionnelle du canal de propagation.

Le corrélateur 10 peut être de type analogique ou numérique, l'étape d'échantillonnage étant réalisée avant ou après l'étape de corrélation.

30



Le bloc de traitement reçoit aussi le signal émis connu lui-même corrélé par exemple au moyen d'un corrélateur 13.

Lorsque l'on utilise un intervalle de temps connu, il est utile de connaître l'instant de réception du bloc ainsi que la longueur du canal.

5 Les signaux considérés au niveau du procédé correspondent aux signaux en sortie de la corrélation par le filtre adapté au signal émis.

**Procédé pour une antenne dont les caractéristiques sont connues**

10 Dans cette partie on utilise les mêmes hypothèses que dans la partie précédente exposée dans le cas d'une antenne dont on connaît les paramètres. On considérera toujours les signaux comme connus et on ne s'intéressera qu'à l'utilisateur  $\omega$  pour simplifier la présentation. Ce modèle se généralise immédiatement au contexte MIMO (Multiple input Multiple Output).

15

### Modélisation

En corrélant le signal reçu sur chaque capteur avec le signal de l'utilisateur  $\omega$ , on obtient (32) :

20

$$\begin{aligned} y^\omega(\tau) &= \left( \sum_{u=1}^U \sum_{p=1}^{P^u} a(\theta_p^u) h_p^u(\tau_p^u) s^u(t - \tau_p^u) + b(t) \right) * s^{\omega*}(-t) \\ &= \sum_{p=1}^{P^u} a(\theta_p^u) h_p^u(\tau_p^u) (s^\omega(t - \tau_p^u) * s^\omega(-t)) + (b(t)) * s^\omega(-t) \end{aligned}$$

25

En limitant les données traitées à la partie "contenant" le canal de propagation en sortie de la corrélation, on réduit grandement la complexité car on diminue la taille des matrices utilisées.

En concaténant les échantillons filtrés en sortie des capteurs sur un intervalle de temps  $Nl$ , le signal  $X$  peut être modélisé de la manière suivante (33) :

$$\begin{aligned}
 & X = \Phi(\theta, \tau)h + b \\
 \text{5} \quad & \text{où} \quad X = \left[ y^{1T}(T_e), \dots, y^{NlT}(NlT_e) \right]^T \\
 & b^\omega = \left[ \left\{ \left( b(t) + b'(t) \right)^T * s^{\omega*}(-t) \right\}_{\tau=T_e, \dots, NlT_e} \right]^T \\
 & h^\omega = [h_1^\omega, \dots, h_{P^\omega}^\omega]^T \\
 \text{10} \quad & \text{et} \quad \Phi(\theta, \tau) = [\Phi_1, \dots, \Phi_{P^\omega}] \\
 & \text{avec} \quad \Phi_p = [\Phi_p^T(T_e), \dots, \Phi_p^T(NlT_e)]^T \\
 & \text{et} \quad \Phi_p(t, \theta) = (s^\omega(t - \tau_p^u) * s^{\omega*}(-t)) \otimes a(\theta)
 \end{aligned}$$

15 Le bruit  $b^\omega$  suit une loi normale de covariance  $\sigma_T^2 R_b$  où la matrice  $R_b = R_s^\omega I_N$ .  $R_s^\omega$  est la matrice de covariance du vecteur (34):

$$s^\omega = [s^\omega(T_e), \dots, s^\omega(NlT_e)]^T$$

20

La vraisemblance du signal  $X^\omega$  est donnée par (35) :

$$25 \quad P(X^\omega | \Phi(\theta, \tau), h^\omega, \sigma_T^2, R_b) = \frac{1}{\pi^{NlN} \sigma_T^{2NlN} |R_b|} \exp \left( -\frac{1}{\sigma_T^2} (X^\omega - \Phi(\theta, \tau)h^\omega)^T R_b^{-1} (X^\omega - \Phi(\theta, \tau)h^\omega) \right)$$

d'où la log-vraisemblance (36) :

$$30 \quad L(X^\omega | \Phi(\theta, \tau), h^\omega, \sigma_T^2, R_b) = -NlN \log(\pi \sigma_T^2) - \log(|R_b|) - \frac{1}{\sigma_T^2} \left\| R_b^{-\frac{1}{2}} (X^\omega - \Phi(\theta, \tau)h^\omega) \right\|^2$$

En annulant les dérivées de la log-vraisemblance par rapport à  $\sigma^2$  et par rapport à  $h^\omega$ , on obtient les estimateurs de  $\sigma^2$  et de  $h^\omega$  (37) :

$$\hat{\sigma}_T^2 = \frac{\left\| R_b^{-\frac{1}{2}} (X^\omega - \Phi(\theta, \tau) h^\omega) \right\|^2}{N_t N}$$

5 et

$$\hat{h}^\omega = (\Phi^\dagger(\theta, \tau) \Phi(\theta, \tau))^{-1} \Phi^\dagger(\theta, \tau) X^\omega$$

10 En remplaçant  $\sigma^2$  et  $h^\omega$  par leur expression dans (36) on obtient l'estimateur recherché pour les paramètres spatio-temporels  $\theta$  et  $\tau$  (38) ; (39)

$$\theta, \tau = \arg \min_{\theta, \tau} X^\omega R_b^{-1} \Pi_\Phi^\perp(\theta, \tau) X^\omega$$

15 où

$$\Pi_\Phi^\perp = I - \Phi(\theta, \tau) (\Phi^\dagger(\theta, \tau) R_b^{-1} \Phi(\theta, \tau))^{-1} \Phi^\dagger(\theta, \tau) R_b^{-1}$$

20 Les paramètres spatio temporels estimés sont par exemple utilisés pour déterminer l'estimée de la réponse impulsionnelle du canal de propagation.

### Antenne non calibrée

25 Dans cette partie, nous nous intéressons à une méthode du MVA réduit avec une antenne inconnue. La démarche utilisée sera identique à la précédente. Nous nous contenterons de donner le modèle du signal, la log-vraisemblance et les estimateurs.

### Modélisation

30 Le signal reçu est filtré par  $s^\omega(-t)$  (40) :

$$\begin{aligned}
x^\omega(\tau) &= \left( \sum_{u=1}^U \sum_{p=1}^{P^u} h^u(\tau_p^u) s^u(t - \tau_p^u) + b(t) \right) * s^{\omega*}(-t) \\
&= \sum_{p=1}^{P^u} h^u(\tau_p^u) (s^\omega(t - \tau_p^u) * s^\omega(-t)) + (b(t) + b'(t)) * s^\omega(-t)
\end{aligned}$$

5 En concaténant les échantillons en sortie des capteurs puis les vecteurs obtenus on obtient (41) :

où

$$\begin{aligned}
Y^\omega &= S\alpha^\omega + n^\omega \\
Y^\omega &= [x_1^{\omega T}(T_e), \dots, x_1^{\omega T}(N_l T_e), \dots, x_N^{\omega T}(N_l T_e)]^T \\
10 \quad n^\omega &= \left[ \left\{ \left\{ (b_i(t) + b'_i(t)) * s^\omega(-t) \right\}_{\tau=T_e, \dots, N_l T_e} \right\}_{i=1, \dots, N} \right] \\
\alpha^\omega &= [h_{1,1}^\omega, \dots, h_{P^\omega,1}^\omega, \dots, h_{P^\omega,N}^\omega]^T
\end{aligned}$$

15 et  $S(\tau) = [S_1, \dots, S_{P^\omega}]$   
avec  $S_p = [S_p(T_e), \dots, S_p(N_l T_e)]^T$   
et  $S_p(t) = s^\omega(t - \tau_p^u) * s^\omega(-t)$

Le bruit  $n^\omega$  suit une loi normale de covariance  $\sigma_T^2 R_n$  où la matrice

20  $R_n = I_N \otimes R_{s^\omega}$ .

La vraisemblance du signal  $Y^\omega$  est donnée par (42) :

$$P(Y^\omega | S(\tau), \alpha^\omega, \sigma_T^2, R_n) = \frac{1}{\pi^{N_l N} \sigma_T^{2N_l N} |R_n|} \exp \left( -\frac{1}{\sigma_T^2} (Y^\omega - S(\tau)\alpha^\omega)^T R_n^{-1} (Y^\omega - S(\tau)\alpha^\omega) \right)$$

25

d'où la log-vraisemblance (43) :

$$L(Y^\omega | S(\tau), \alpha^\omega, \sigma_T^2, R_n) = -N_l N \log(\pi \sigma_T^2) - \log(|R_n|) - \frac{1}{\sigma_T^2} \left\| R_n^{-\frac{1}{2}} (Y^\omega - S(\tau)\alpha^\omega) \right\|^2$$

En annulant la dérivée de la log-vraisemblance par rapport à  $\sigma_T^2$  et par rapport à  $\alpha^\omega$ , on obtient les estimateurs de  $\sigma_T^2$  (43) et de  $\alpha^\omega$  (44) :

$$\begin{aligned} \text{et} \quad \hat{\sigma}_T^2 &= \frac{\left\| \mathbf{R}_n^{-\frac{1}{2}} (\mathbf{Y}^\omega - \mathbf{S}(\tau) \alpha^\omega) \right\|^2}{N_l N} \\ \hat{\alpha}^\omega &= (\mathbf{S}(\tau) \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{S}(\tau))^{-1} \mathbf{S}(\tau) \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{Y}^\omega \end{aligned}$$

En remplaçant dans (42)  $\hat{\sigma}_T^2$  et  $\hat{\alpha}^\omega$  par leur expression, on trouve un estimateur pour le paramètre  $\tau$  (45):

$$\begin{aligned} \hat{\tau} &= \arg \min_{\tau} \mathbf{Y}^\omega \mathbf{R}_n^{-1} \Pi_s^\perp(\tau) \mathbf{Y}^\omega \\ \text{où} \quad \Pi_s^\perp &= \mathbf{I} - \mathbf{S}(\tau) (\mathbf{S}(\tau) \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{S}(\tau))^{-1} \mathbf{S}(\tau) \mathbf{R}_n^{-1} \end{aligned}$$

La valeur estimée du retard  $\tau$  est ensuite utilisée par exemple pour estimer la valeur de la réponse impulsionnelle du canal de propagation.

Les différentes variantes de mise en œuvre du procédé selon l'invention, s'applique dans de nombreux domaines du traitement du signal. Dans les systèmes de communications, il est souvent nécessaire de connaître le canal de propagation afin de démoduler les signaux émis.

Compte tenu de la congestion spectrale et de la demande croissante des utilisateurs, les systèmes futurs feront communiquer plusieurs utilisateurs simultanément dans la même bande de fréquence. De ce fait, les techniques proposées ici dans le cadre MIMO ont une application directe.

De la même façon, la technique d'estimation du filtre avec réduction de la complexité s'applique dans le contexte MIMO et SIMO (Sigle

Input Multiple Output). Nous ne revendiquons pas la technique d'estimation SISO (Sigle Input Single Output) qui est bien connue.

Dans le cas d'un traitement radar, ces techniques s'appliquent également. Elles peuvent être utilisées dans un contexte multi-cible où mono-cible avec  
5 écho.

De même dans le cadre de la radio-altimétrie, plusieurs échos du signal émis peuvent être reçus et tous nécessitent d'être estimés.

Sans sortir du cadre de l'invention, le procédé peut tenir compte  
10 de l'effet Doppler. Pour cela, une manière consiste par exemple à estimer les vitesses en minimisant une fonction multidimensionnelle intégrant tous les paramètres du modèle, autres que les amplitudes complexes et la puissance de bruit.

15 Le procédé selon l'invention s'applique notamment dans un système de télécommunications UMTS comportant un réseau d'antennes.

Input Multiple Output).

Dans le cas d'un traitement radar, ces techniques s'appliquent également. Elles peuvent être utilisées dans un contexte multi-cible où mono-cible avec écho.

- 5 De même dans le cadre de la radio-altimétrie, plusieurs échos du signal émis peuvent être reçus et tous nécessitent d'être estimés.

- 10 Sans sortir du cadre de l'invention, le procédé peut tenir compte de l'effet Doppler. Pour cela, une manière consiste par exemple à estimer les vitesses en minimisant une fonction multidimensionnelle intégrant tous les paramètres du modèle, autres que les amplitudes complexes et la puissance de bruit.

- 15 Le procédé selon l'invention s'applique notamment dans un système de télécommunications UMTS comportant un réseau d'antennes.

## REVENDEICATIONS

- 5 1 – Procédé pour estimer un ou plusieurs paramètres d'un canal de propagation avec une connaissance a priori du signal dans un système comportant un ou plusieurs capteurs caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :
- 10 • corrélér le signal reçu par le ou les capteurs  $s(t)$  avec un signal connu  $c(t)$ ,
  - sélectionner un nombre d'échantillons du signal obtenu après l'étape de corrélation,
  - déterminer les paramètres du canal tel que  $\tau$  et/ou  $\theta$  qui permettent de reconstruire au mieux les signaux reçus en utilisant une méthode au
  - 15 maximum de vraisemblance.
- 2 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que les caractéristiques du système de capteurs sont connues et en ce qu'il comporte
- 20 • une étape de corrélation avec un signal connu  $c(t)$  égal à 1,
  - les signaux reçus sur l'antenne s'exprime sous la forme  $X=S(\theta,\tau)h+B$
  - les estimées des paramètres  $\tau$  et  $\theta$  s'expriment sous la forme

$$\begin{aligned} \hat{\theta}, \hat{\tau} &= \arg \min_{\theta, \tau} \|\Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\|^2 \\ &= \arg \min_{\theta, \tau} \{X^\dagger \Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\} \end{aligned}$$

où  $\Pi_S^\perp$  est le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs colonnes de  $S(\theta, \tau)$



## REVENDICATIONS

- 5 1 – Procédé pour estimer un ou plusieurs paramètres d'un canal de propagation avec une connaissance a priori du signal dans un système comportant un ou plusieurs capteurs caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :
- corrélér le signal reçu par le ou les capteurs  $s(t)$  avec un signal connu
  - 10  $c(t)$ ,
  - sélectionner un nombre d'échantillons du signal obtenu après l'étape de corrélation,
  - déterminer les paramètres du canal tel que  $\tau$  et/ou  $\theta$  qui permettent de reconstruire au mieux les signaux reçus en utilisant une méthode au
  - 15 maximum de vraisemblance.
- 2 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que les caractéristiques du système de capteurs sont connues et en ce qu'il comporte
- 20 • une étape de corrélation avec un signal connu  $c(t)$  égal à 1,
  - les signaux reçus sur l'antenne s'exprime sous la forme  $X=S(\theta,\tau)h+B$
  - les estimées des paramètres  $\tau$  et  $\theta$  s'expriment sous la forme

25

$$\begin{aligned}\hat{\theta}, \hat{\tau} &= \arg \min_{\theta, \tau} \|\Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\|^2 \\ &= \arg \min_{\theta, \tau} \{X^\dagger \Pi_S^\perp(\theta, \tau)X\}\end{aligned}$$

où  $\Pi_S^\perp$  est le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs colonnes de  $S(\theta, \tau)$

(les caractéristiques du système de capteurs sont par exemple la réponse à l'antenne)

3 – Procédé selon la revendication caractérisé en ce qu'il comporte une  
5 étape de détermination des amplitudes complexes  $h$  de la réponse impulsionnelle du canal de propagation à partir des estimées des paramètres estimés  $\tau$  et  $\theta$ .

4 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que les  
10 caractéristiques du système de capteurs ne sont pas connues et en qu'il comporte :

- une étape de corrélation des signaux reçus par le réseau de capteurs avec un signal connu  $c(t)$  égal à 1,
- une étape où les signaux reçus s'expriment sous une forme concaténée  
15  $Y = \Psi(\tau)\alpha + N$  où  $\Psi(\tau)$  est égal au produit convolué de la matrice unité  $I_N$  avec la matrice  $S(\tau) = [s^1(\tau_1^1), \dots, s^1(\tau_{P_1}^1), \dots, s(\tau_{P_U}^U)]$  et  $\alpha$  contient les réponses des trajets des différents utilisateurs,
- une étape d'estimation du vecteur retard  $\tau$  à partir de

20

$$\begin{aligned}\hat{\tau} &= \arg \min_{\tau} \|\Pi_{\Psi}^{\perp}(\tau)Y\|^2 \\ &= \arg \min_{\tau} \text{tr}(Y^{\dagger} \Pi_{\Psi}^{\perp}(\tau)Y)\end{aligned}$$

où  $\Pi_{\Psi}^{\perp}$  est le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs lignes de  $\Psi(\tau)$ .

25

5 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte une étape de corrélation des signaux avec un signal  $c(t)$  différent de 1, en ce que les caractéristiques du système de capteurs sont connues et en ce qu'il comporte une étape d'estimation des paramètres  $\tau$  et  $\theta$  à partir de

30

(les caractéristiques du système de capteurs sont par exemple la réponse à l'antenne)

3 – Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination des amplitudes complexes  $h$  de la  
5 réponse impulsionnelle du canal de propagation à partir des estimées des paramètres estimés  $\tau$  et  $\theta$ .

4 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que les caractéristiques du système de capteurs ne sont pas connues et en qu'il comporte :

- 10 • une étape de corrélation des signaux reçus par le réseau de capteurs avec un signal connu  $c(t)$  égal à 1,
- une étape où les signaux reçus s'expriment sous une forme concaténée  $Y = \Psi(\tau)\alpha + N$  où  $\Psi(\tau)$  est égal au produit convolué de la matrice unité  $I_N$  avec la matrice  $S(\tau) = [s^1(\tau_1^1), \dots, s^1(\tau_{P_1}^1), \dots, s(\tau_{P_U}^U)]$  et  $\alpha$  contient les  
15 réponses des trajets des différents utilisateurs,
- une étape d'estimation du vecteur retard  $\tau$  à partir de

$$\begin{aligned}\hat{\tau} &= \arg \min_{\tau} \|\Pi_{\Psi}^{\perp}(\tau)Y\|^2 \\ &= \arg \min_{\tau} \text{tr}(Y^{\dagger} \Pi_{\Psi}^{\perp}(\tau)Y)\end{aligned}$$

où  $\Pi_{\Psi}^{\perp}$  est le projecteur orthogonal à l'image engendrée par les vecteurs  
20 lignes de  $\Psi(\tau)$ .

5 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte une étape de corrélation des signaux avec un signal  $c(t)$  différent de 1, en ce que les caractéristiques du système de capteurs sont connues et en ce qu'il comporte une étape d'estimation des paramètres  $\tau$  et  $\theta$  à partir de

$$\theta, \tau = \arg \min_{\theta, \tau} X^w R_b^{-1} \Pi_{\Phi}^{\perp}(\theta, \tau) X^w$$

$$\Pi_{\Phi}^{\perp} = I - \Phi(\theta, \tau) (\Phi^{\dagger}(\theta, \tau) R_b^{-1} \Phi(\theta, \tau))^{-1} \Phi^{\dagger}(\theta, \tau) R_b^{-1}$$

5

6 - Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte une étape de corrélation des signaux reçus avec  $c(t)$  différent de 1 et en ce que les caractéristiques du système de capteurs étant inconnues, l'estimation du vecteur retard s'exprime à l'aide de

10

$$\hat{\tau} = \arg \min_{\tau} Y^w R_n^{-1} \Pi_S^{\perp}(\tau) Y^w$$

$$\Pi_S^{\perp} = I - S(\tau) (S(\tau) R_n^{-1} S(\tau))^{-1} S(\tau) R_n^{-1}$$

15 7 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce qu'il est appliqué dans des applications de type MIMO (Multiple Input Multiple output) ou SIMO (Single Input Single Output).

20 8 - Dispositif pour estimer un ou plusieurs paramètres d'un canal de propagation avec une connaissance a priori du signal dans un système comportant un ou plusieurs capteurs caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- un dispositif adapté à corrélérer le signal reçu par le ou les capteurs  $s(t)$  avec un signal connu  $c(t)$ ,
- 25 • un dispositif adapté à sélectionner un nombre d'échantillons du signal obtenu après l'étape de corrélation, et
- un dispositif adapté à déterminer les paramètres du canal par une méthode au maximum de vraisemblance.

30 9 - Récepteur de radiocommunication comportant les caractéristiques du dispositif selon la revendication 8.

$$\theta, \tau = \arg \min_{\theta, \tau} X^w R_b^{-1} \Pi_{\Phi}^{\perp}(\theta, \tau) X^w$$

$$\Pi_{\Phi}^{\perp} = I - \Phi(\theta, \tau) (\Phi^{\dagger}(\theta, \tau) R_b^{-1} \Phi(\theta, \tau))^{-1} \Phi^{\dagger}(\theta, \tau) R_b^{-1}$$

5

6 - Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte une étape de corrélation des signaux reçus avec  $c(t)$  différent de 1 et en ce que les caractéristiques du système de capteurs étant inconnues, l'estimation du vecteur retard s'exprime à l'aide de

10

$$\hat{\tau} = \arg \min_{\tau} Y^w R_n^{-1} \Pi_S^{\perp}(\tau) Y^w$$

$$\Pi_S^{\perp} = I - S(\tau) (S(\tau) R_n^{-1} S(\tau))^{-1} S(\tau) R_n^{-1}$$

15 7 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce qu'il est appliqué dans des applications de type MIMO (Multiple Input Multiple output) ou SIMO (Single Input Single Output).

20 8 - Dispositif pour estimer un ou plusieurs paramètres d'un canal de propagation avec une connaissance a priori du signal dans un système comportant un ou plusieurs capteurs caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- un dispositif adapté à corrélérer le signal reçu par le ou les capteurs  $s(t)$  avec un signal connu  $c(t)$ ,
- 25 • un dispositif adapté à sélectionner un nombre d'échantillons du signal obtenu après l'étape de corrélation, et
- un dispositif adapté à déterminer les paramètres du canal par une méthode au maximum de vraisemblance.

30 9 - Récepteur de radiocommunication comportant les caractéristiques du dispositif selon la revendication 8.

1/2

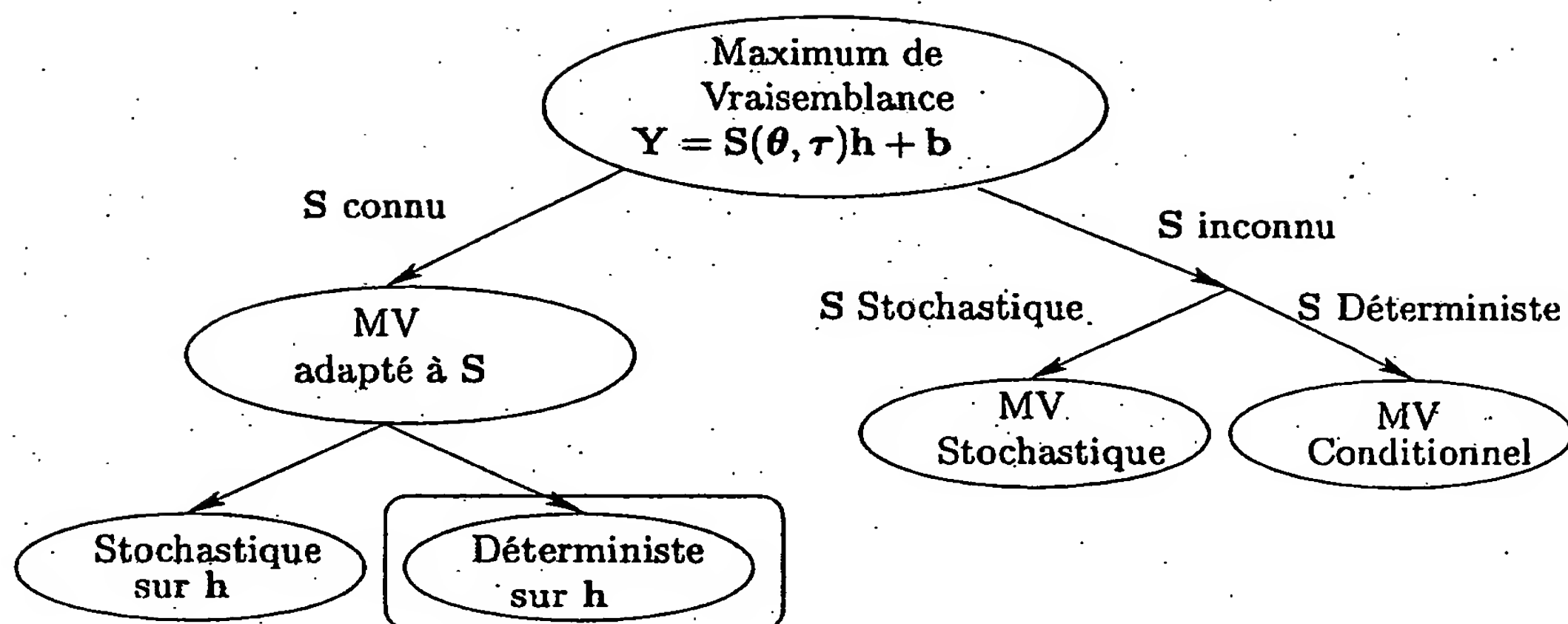


FIG. 1

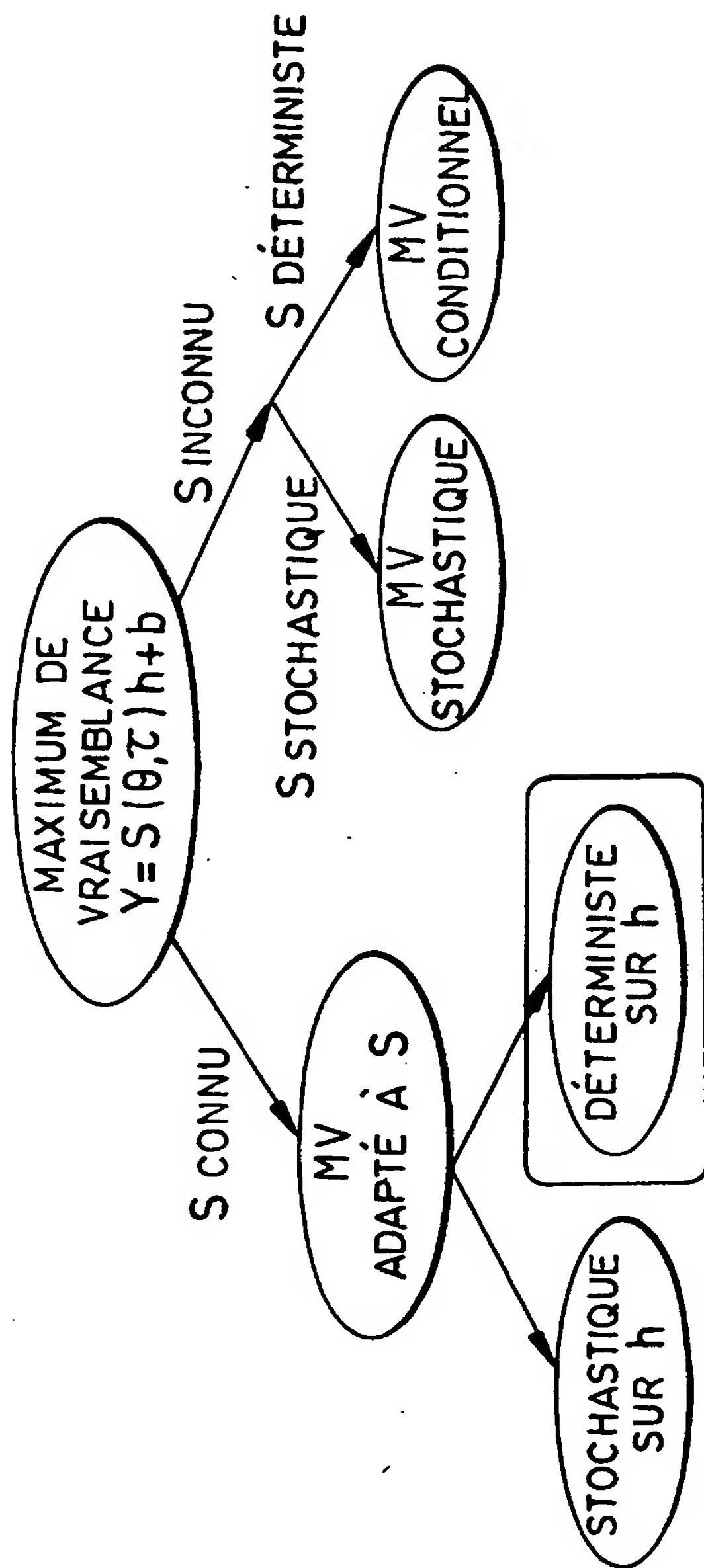


FIG.1

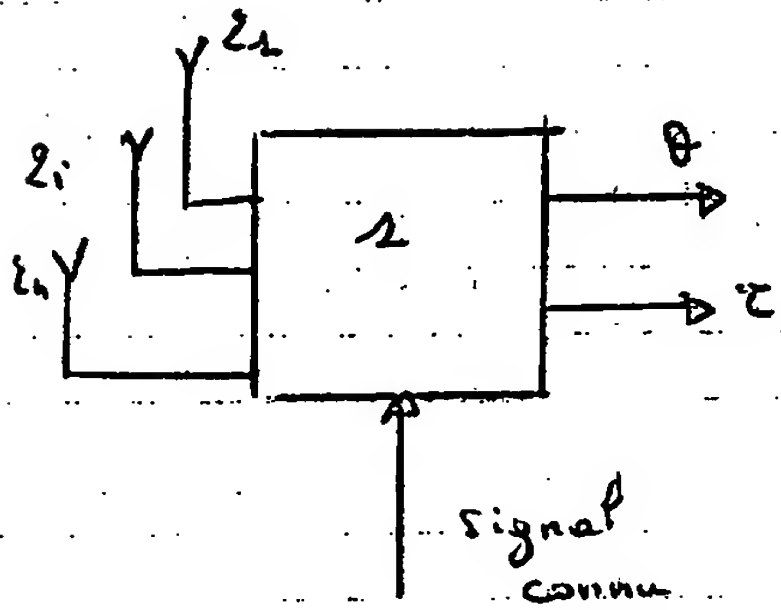
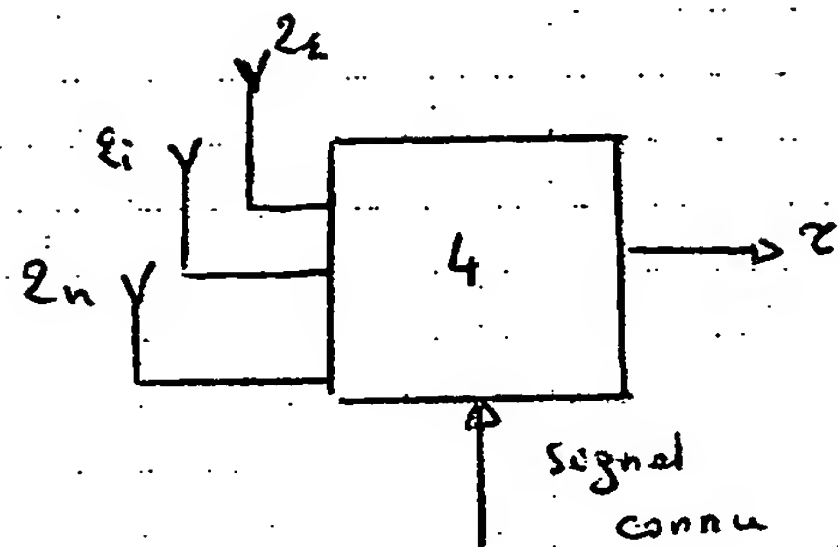
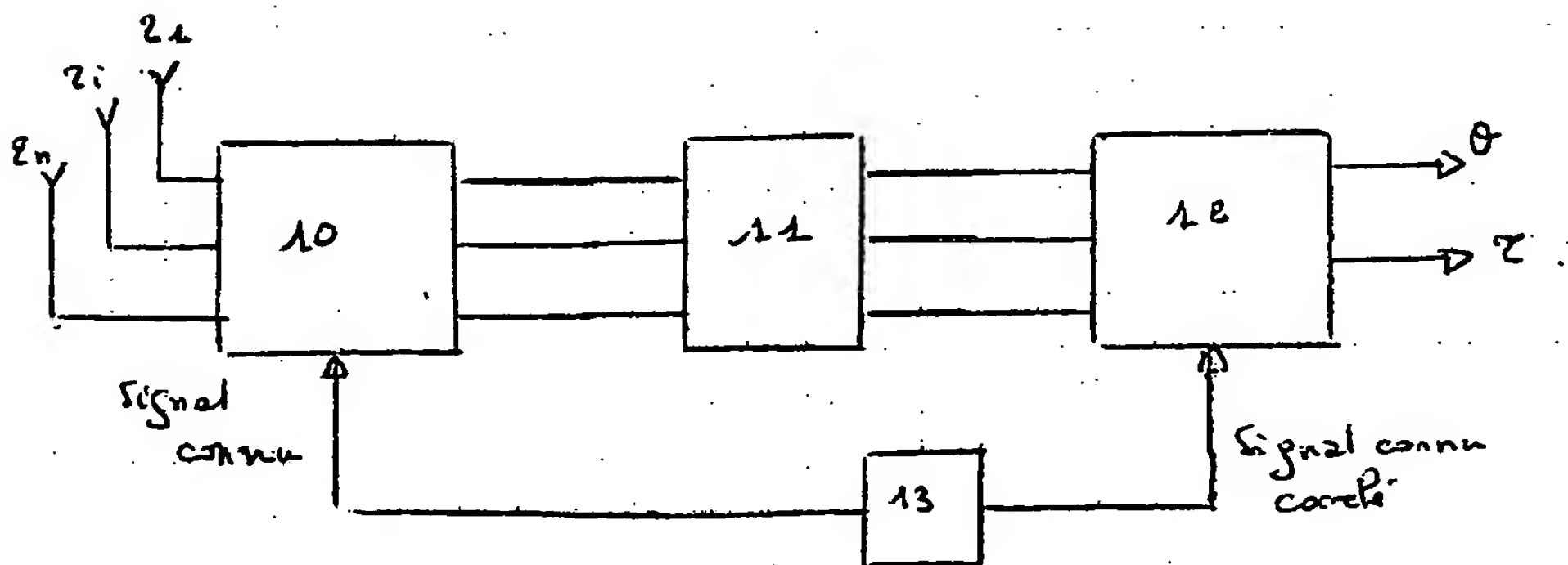
Figure 2Figure 3Figure 4



FIG.2

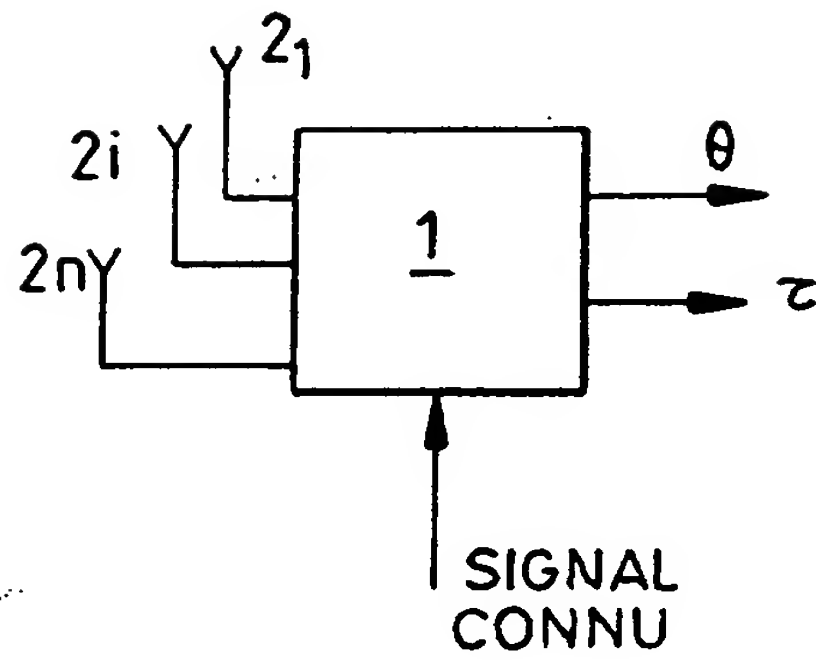


FIG.3

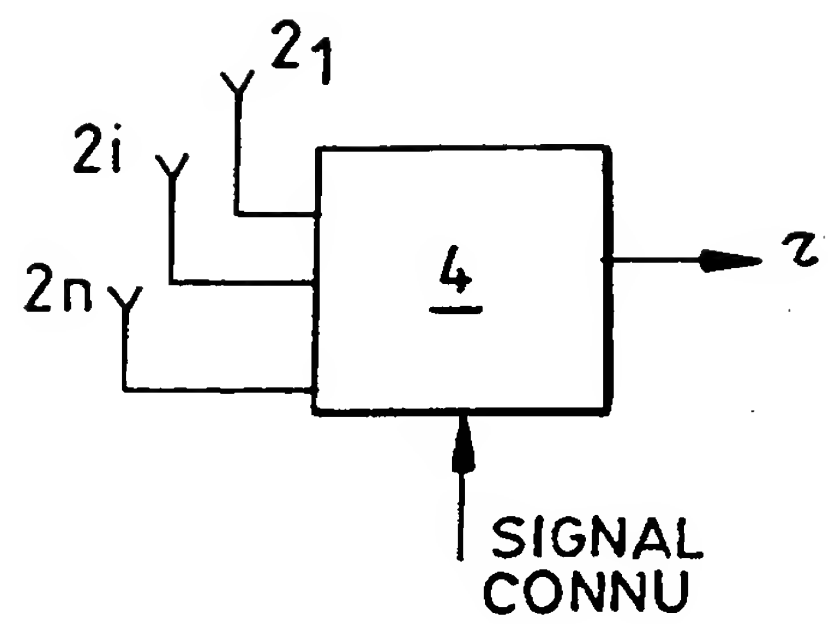
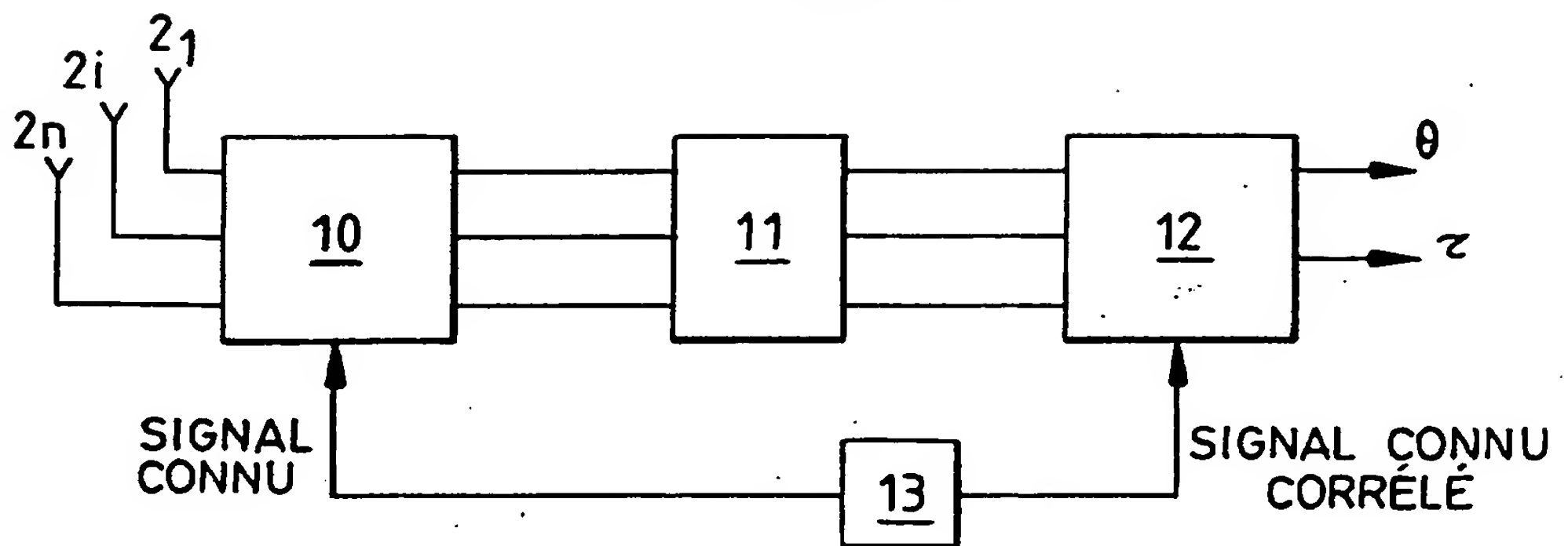


FIG.4



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 2..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		62397	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0101429	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE POUR ESTIMER LES PARAMETRES D'UN CANAL DE PROPAGATION.			
LE(S) DEMANDEUR(S) : THOMSON-CSF			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		CHEVALIER	
Prénoms		Pascal	
Adresse	Rue	THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL Cedex
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		CHENU-TOURNIER	
Prénoms		Marc	
Adresse	Rue	THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL Cedex
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		ADNET	
Prénoms		Claude	
Adresse	Rue	THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL Cedex
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
02 FEV. 2001 Isabelle DUDOUTT			

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2. / 2.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

09 113 17 / 250000

Vos références pour ce dossier (facultatif)		62397	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0101629	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCÉDE POUR ESTIMER LES PARAMETRES D'UN CANAL DE PROPAGATION.			
LE(S) DEMANDEUR(S) : THOMSON-CSF			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		LARZABAL (CNRS/ENS URA 1375)	
Prénoms		Pascal	
Adresse	Rue	THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13, avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL Cedex
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
02 FEV 2001 Isabelle DUDOUIT			

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**22850**

SERIAL NO.: 10/060,249

FILING DATE: 2/1/02